

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 20 OCT 2003
WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 43 978.8

Anmeldetag: 20. September 2002

Anmelder/Inhaber: DaimlerChrysler AG, Stuttgart/DE

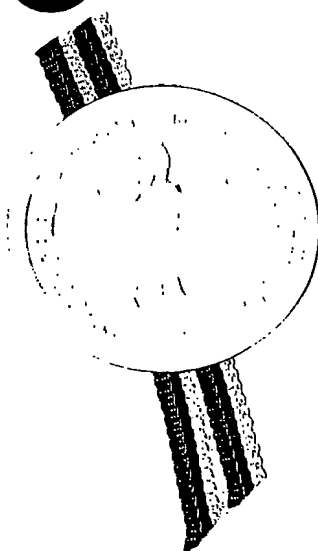
Bezeichnung: Vorausschauendes Notbremssystem

IPC: B 60 T, G 08 G

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 22. September 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

[Handwritten Signature]
Brosig



Vorausschauendes Notbremssystem

Kurzbeschreibung

Das System „Vorausschauendes Notbremssystem“ besteht aus den Komponenten Abstandssensor (1), Bremssystem (2), Instrument (3) und „Vorausschauendes Notbremssystem“ – Steuergerät (4). Die Verbindung zwischen den Komponenten ist über den bestehenden Fahrzeugbus (5) realisiert (vgl. Bild).

Damit stellt dieses Vorausschauende Notbremssystem eine durchgängige Aktionskette von der Informationsgewinnung durch die Sensorik über die Aufbereitung der Information, der Informations-Anzeige bis zur Aktorik dar.

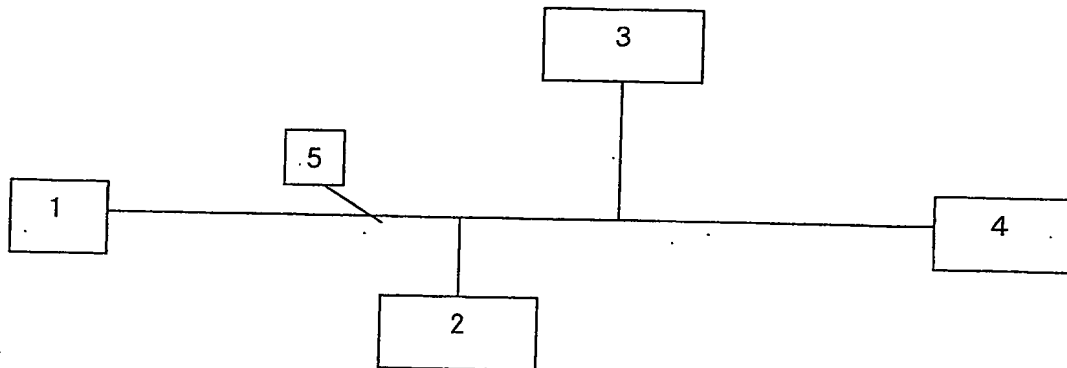


Bild: Systemarchitektur

Verwendung findet ein Auslösealgorithmus, der zum einen bei einer Vielzahl von kritischen Verkehrssituationen korrekt warnt bzw. bremst, aber auch unter den schwierig zu beurteilenden Rahmenbedingungen von z.B. innerstädtischem Verkehr keine Fehlbremssungen generiert.

In den Algorithmus fließen außer den Meßwerten auch die Fahrer-Reaktionen ein.

Eine einmal begonnene Notbremsung wird nur durch Erreichen eines gültigen Auflösungskriteriums abgebrochen. Dadurch wird sichergestellt, daß eine Notbremsung nicht durch einen Systemfehler aufgehoben werden kann.

„Das System „Vorausschauendes Notbremssystem“ muß die Gefahr eines Unfalles in bestimmten, wichtigen Verkehrssituationen vermeiden und darf sie in keiner erhöhen.“

Situation im Strassenverkehr

Die Güterverkehrsleistungen haben sich in den letzten 10 Jahren nahezu verdoppelt; die Infrastruktur konnte mit einem Wachstum von rund 2 % mit der Entwicklung des Güterverkehrsaufkommens nicht Schritt halten. Die infolgedessen stetig steigende Verkehrsdichte wird als zunehmende Bedrohung für die Sicherheit auf unseren Straßen wahrgenommen. Trotz der nachweislichen Erfolge der letzten Jahre ist deshalb der ständige gesellschaftliche Ruf nach weiter optimierten Sicherheitssystemen verständlich und nachvollziehbar.

Allerdings sind die Potenziale herkömmlicher Maßnahmen nahezu ausgeschöpft. Aufgrund des hohen Energiegehaltes der bewegten Fahrzeuge sind Maßnahmen der passiven Sicherheit, insbesondere im Hinblick auf den Partnerschutz, längst an physikalische

Grenzen gestoßen. Aktive Sicherheitssysteme der ersten Generation, wie z. B. ABS oder ESP, werden in Kürze einen sehr hohen Reifegrad erreicht haben und weitere signifikante Unfallvermeidungspotentiale sind von diesen Systemen durch eine Weiterentwicklung nicht mehr zu erwarten.

Um effektiv Unfallschwerpunkte im täglichen Verkehrsgeschehen zu eliminieren, sind völlig neue Ansätze erforderlich. Gekoppelt mit Informationen aus dem Fahrzeugumfeld können aktive Sicherheitssysteme der nächsten Generation erhebliche Potenziale zur Verbesserung der Verkehrssicherheit eröffnen.

Das System „Vorausschauendes Notbremssystem“ wird die Anzahl der Auffahrunfälle auf vorausfahrende Fahrzeuge bzw. deren Unfallfolgen, insbesondere mit tödlichem Ausgang, deutlich reduzieren. Damit wird „Vorausschauendes Notbremssystem“ einen erheblichen Beitrag für die Transport- und Verkehrssicherheit, den Schutz für Leib und Leben und die Wertschöpfung eines Kraftfahrzeuges leisten.

Der Güterverkehr auf der Straße ist heute und künftig von enormer gesellschaftlicher Bedeutung. Der mit dem Wirtschaftswachstum einhergehende Transportbedarf wird als stark ansteigend prognostiziert [L3]. Mit weltweit wachsendem Transportaufkommen steigen die gesellschaftlichen und ökologischen Belastungen.

Eine genauere Analyse für Nutzfahrzeuge größer 8t zeigt die Unfallschwerpunkte nach Unfallarten:

- | | |
|--|------|
| - Auffahren auf vorausfahrendes Fahrzeug | 25 % |
| - Kollision mit abbiegendem oder kreuzendem Fahrzeug | 22 % |
| - Kollision mit entgegenkommendem Fahrzeug | 15 % |

Bezogen auf den Straßentyp ereignen sich Auffahrunfälle schwerpunktmäßig auf Autobahnen (48 %) und Bundesstraßen (28 %). Das Fahrerverhalten zeigt dabei, dass in rund 39 % der Fälle nicht gebremst und bei weiteren 20 % nur teilgebremst wird. Aus diesen Zahlen ergibt sich eindeutig die Forderung nach automatisierten Notbremssystemen, welche in die Gruppe von Fahrerassistenzsystemen einzuordnen sind.

Unter Fahrerassistenzsystemen (advanced driver assistance systems, ADAS) versteht man solche Systeme, die den Fahrer bei seinen Fahraufgaben Fahrregelung (Längs- und Querverführung), Manövrieren (Fahrzeugfolge, Spurwechsel, Überholen, ...) und Navigation (Auswahl der Fahrroute) durch Information, Warnung und aktives Eingreifen unterstützen. Sie bieten dem Fahrer einen erhöhten Komfort und verbesserte Sicherheit, können ihn aber nicht ersetzen. Der Fahrzeugführer bleibt verantwortlich für sein Handeln.

Abstandsregelsysteme

Erste Systeme zur Abstandsregelung wurden 1995 in Japan durch Mitsubishi in den Pkw-Markt eingeführt. Es folgten Toyota, Nissan und Honda. Seit Beginn des Jahres 2000 sind solche Systeme für Pkw auch in Europa erhältlich, die Anbieter sind Mercedes-Benz, BMW, Fiat und Jaguar. Für Nutzfahrzeuge wird die Abstandsregelung in Japan seit 1998 durch Mitsubishi Fuso und Hino angeboten. Einziger europäischer Anbieter ist seit Mitte 2000 Mercedes-Benz für schwere Nutzfahrzeuge (Actros). Bei Iveco und Renault sind derartige Systeme in der Entwicklung, Scania stellte im Herbst 2001 ein Konzeptfahrzeug mit Abstandsregelung vor.

In den USA sind Systeme zur Abstandsregelung derzeit nur von Mercedes-Benz (Pkw) erhältlich. Die „SmartCruise“ genannten Systeme der Firma Eaton Vorad befinden sich

noch in der Testphase, die gemeinsam mit den Fahrzeugherstellern erfolgt, ihre Markteinführung ist angekündigt. Von derselben Firma ist ein System zur Abstandswarnung verfügbar, das optische und akustische Signale ausgibt, sobald ein bestimmter Abstand unterschritten wird. Dieses System wird zum nachträglichen (Selbst-)Einbau angeboten, daher sind insbesondere Bedien- und Anzeigeelemente nicht mit denen des Fahrzeugs integriert. Systeme zur Abstandswarnung eignen sich für den amerikanischen Markt aufgrund der geringeren Fahrzeugdichte sehr viel besser als für den europäischen und japanischen Markt mit ihrem hohen Verkehrsaufkommen.

Konzepte für Notbremssysteme

Systeme mit Notbremsfunktion können als Erweiterung der Funktion einer Abstandsregelung verstanden werden. Letztere dienen der Verbesserung des Fahrkomforts und verzögern bei Bedarf das Fahrzeug lediglich begrenzt durch Eingriff in Konstantdrossel, Motorbremse und Retarder sowie, je nach System, Betriebsbremse. Die Verzögerung liegt maximal bei etwa 2 m/s^2 . Notbremssysteme hingegen erhöhen die Sicherheit und sollen für die Vermeidung von Auffahrunfällen im letzten möglichen Moment eine Vollbremsung mit einer Verzögerung von 5 m/s^2 und mehr durchführen.

Ein Notbremsmodul für einen sogenannten „elektronischen Kopiloten“ wird in [L11] vorgestellt. Die Umgebungserfassung erfolgt mit einer Kamera und zwei Laserscannern. Hiermit können das Fahrzeug umgebende Objekte vergleichsweise präzise in Ort und Ausdehnung erfasst werden. Für den kürzesten Abstand zu einem Objekt wird die Zeit bis zur Kollision berechnet und mit der Zeit für eine Vollbremsung bis zur Relativgeschwindigkeit „Null“ verglichen. Hieraus ergibt sich der Auslösezeitpunkt für eine Notbremsung. Das System wurde in einen Versuchsträger mit Fahrroboter integriert und erprobt. Für den Einsatz in der Praxis ist allerdings derzeit weder die Sensorik noch die Umgebungsinterpretation geeignet.

In [L13] wird ein System zur Vermeidung von Auffahrunfällen erläutert, das durch Daihatsu im Rahmen des japanischen ASV-Projekts (Advanced Safety Vehicle) entstand. Das System arbeitet mit einem Scanning Laser Radar und CCD-Kamera. Das Radar erfasst andere Fahrzeuge, die Kamera die Fahrspur. Ausgehend von einem notwendigen Notbremsabstand wird ein Zeitabstand zum Hindernis berechnet. Vor Auslösen einer Notbremsung werden zwei Warnungen gegeben, bei der auch die Betätigung des Bremspedals durch einen Fuzzy-Logic-Ansatz berücksichtigt wird, um die Warnung auf das Verhalten des Fahrers abzustimmen. Das System ist nur für den Testbetrieb und nicht für den Einsatz im Straßenverkehr geeignet.

Algorithmik

In [L6] wird ein prototypisches Notbremssystem für Pkw entwickelt und untersucht. Das System ist zum Bremsen vor stehenden Hindernissen (unbewegliche und mobile) und mit konstanter Geschwindigkeit querenden Fahrzeugen ausgelegt. Der Arbeit liegt der Gedanke zugrunde, dass ein Notbremsvorgang erst eingeleitet werden darf, wenn ein Ausweichen nicht mehr möglich ist. Darauf aufbauend wird zunächst der Lenkabstand in Abhängigkeit von der Fahrzeugeigengeschwindigkeit berechnet, also derjenige Abstand, bei dem ein geübter Fahrer durch Lenken einem Hindernis gerade noch ausweichen kann.

Dieser wird mit dem Bremsweg („Notbremsabstand“) für dieselbe Fahrzeuggeschwindigkeit verglichen, also dem kürzesten Abstand, bei dem eine Vollbremsung bis zum Stillstand erfolgen muss, um eine Kollision gerade noch zu verhindern (Bremsverzögerung 1 g , trockene Straße ($\mu=0.8$)).

Hierbei ergibt sich, dass in vielen Fällen der Bremsweg länger ist als der Lenkabstand. Es wird der Einfluß von Totzeit, Objektbreite und Haftreibung untersucht. In dieser Arbeit werden wesentliche Voraussetzungen für die Realisierung eines Pkw-Notbremssystems geschaffen. Die besonderen Eigenschaften des schweren Lkws und insbesondere die typische Verkehrssituation und Fahrerkonditionierung bei der Lkw-Auffahrunfälle geschehen, waren nicht Gegenstand der Untersuchung.

In [L10] wird ein Notbremssystem entwickelt und untersucht, das Fahrzeuge mit einer Verzögerung von 0,4 g auf 30 km/h oder weniger abbremst. Es wird argumentiert, dass der Anteil von Auffahrunfällen bis zu 30 km/h Differenzgeschwindigkeit zwar 56 % der Auffahrunfälle ausmacht, hierfür allerdings der Anteil der durch diese Unfallart Getöteten lediglich bei 9 % liegt, mithin also eine hohe Überlebenswahrscheinlichkeit besteht. Es wird weiter begründet, dass bei 98 % aller Unfälle die Straßenverhältnisse „trocken“ oder „nass“ sind und in diesen Fällen eine Bremsverzögerung von 0,4 g erreicht werden kann. Eine automatische Bremsung mit 0,4 g wird dann eingeleitet, wenn das System eine Kollision mit einer Relativgeschwindigkeit von mehr als 30 km/h vorhersagt. Hierdurch wird einerseits die (relative) Aufprallgeschwindigkeit auf maximal 30 km/h begrenzt, andererseits gewinnt der Fahrer zusätzliche Zeit, in der er selbst reagieren kann, um selber stärker zu bremsen und so eine Kollision zu vermeiden. Wird eine Fahreraktion (Lenken oder Bremsen) vor Auslösung der Notbremsung erkannt, schaltet sich das System ab.

Durch weitere Analysen wird gezeigt, dass die Lenkfähigkeit durch den Fahrer auch *nach* Auslösung einer automatischen Bremsung erhalten bleibt. Durch diese Systemauslegung sei sichergestellt, dass der Fahrer zu jeder Zeit die Kontrolle über das Fahrzeug behält. Es bleibt offen, welcher Sensor verwendet wird und wie die zuverlässige Objektdetektion, Bestimmung des Auslösezeitpunkts und die Erkennung der Fahreraktivität erfolgt.

Ein System zur Abstandswarnung wird in [L12] beschrieben. Vorauszufahrende Objekte werden mit einem Radarsensor erkannt. Ihr Abstand und ihre Relativgeschwindigkeit werden mit dem typischen Fahrerverhalten in Form einer durchschnittlichen Zeitlücke zum Vorauszufahrenden und berechneten Bremswegen und -zeiten verglichen. Bei Erreichen bestimmter Grenzwerte erfolgt eine zweistufige Warnung des Fahrers mit optischen (mit Headup-Display), akustischen und haptischen Signalen. Dieser Ansatz wurde nicht weiter bis zur Marktreife entwickelt. Grundlegende Funktionsprinzipien flossen in die hier vorgestellte Lösung ein.

Eine Reihe weiterer Ansätze zur Realisierung einer Notbremseinrichtung wurden vorgeschlagen, denen stets gemeinsam ist, dass entweder der gewählte Systemansatz oder die verwendete Sensorik eine Überführung in ein marktfähiges Produkt nicht erlaubte ([L14], [L15], [L16]).

Warnstrategien

Ein Warnalgorithmus zur Vermeidung von Auffahrunfällen wird in [L7] vorgestellt. Es wird von zwei Pkw ausgegangen, die einander mit gleicher Geschwindigkeit folgen. Sobald der Vordermann bis zum Stillstand bremst, wird der geeignete Zeitpunkt einer Warnung für das Folgefahrzeug gesucht. Dabei werden die drei Fälle „Führungsfahrzeug stoppt vor einer Warnung“, „Führungsfahrzeug stoppt nach einer Warnung“ und „Folgefahrzeug stoppt vor Führungsfahrzeug“ unterschieden, die den möglichen Relativbewegungen der Fahrzeuge zueinander entsprechen. Anschließend werden Formeln für den jeweiligen Moment der Warnung hergeleitet; dabei werden konstante Verzögerungen der Fahrzeuge vorausgesetzt.

Situationen, in denen die Fahrzeuge unterschiedliche Ausgangsgeschwindigkeiten haben oder in denen sich die Bremsverzögerung ändert, werden nicht behandelt. Dieser Warnalgorithmus wird anhand von realen Felddaten in [L8] bewertet. Es wird untersucht,

wie häufig der Algorithmus eine Warnung ausgibt, bevor der Fahrer selbst bremst. Dieses wird als Fehlwarnung interpretiert, da es während des Feldtests zu keinerlei Unfällen gekommen ist. Dabei ergibt sich, dass für etwa 78 % der Fahrer bei 0-2 % der Bremsungen zuvor eine Warnung erfolgte und für weitere etwa 19 % der Fahrer bei 2-4 % der Bremsungen zuvor gewarnt wurde. Zusammengefasst ergibt sich eine durchschnittliche Quote von 1,3 %, in denen vor Bremsung gewarnt wird. Hierbei hat das Fahrverhalten einen großen Einfluß: konservative Fahrer hören den Alarm in 1 % der Fälle oder weniger, während aggressive oder unaufmerksame Fahrer den Alarm in 2-10 % der Fälle wahrnehmen.

Eine weitere Veröffentlichung der National Highway Traffic Safety Administration (USA) [L9] geht der Frage nach, wodurch sich Fahrsituationen unterscheiden, in denen ein Fahrer durch Bremsen erfolgreich einen Unfall vermeiden konnte von denen, die zu einem Unfall führten. Als Unterscheidungsmerkmal werden eine „Brake Response Time“, das ist die Reaktionszeit des Fahrers bis zum Bremsen, nach Beginn des Bremsvorgangs eines vorausfahrenden Fahrzeugs und ein „Level of Deceleration“, das ist die durchschnittliche Verzögerung des Fahrers während des gesamten Bremsvorgangs, definiert. Anhand dieser Parameter kann bestimmt werden, ob ein Bremsvorgang zu einem Unfall führt oder nicht. Dieser Ansatz führt zu einem besseren Verständnis von Auffahrunfällen, allerdings ist er auf den praktischen Einsatz eines Notbremssystems nicht zu übertragen, da die durchschnittliche Verzögerung vorab nicht bekannt ist und weiterhin mit einer konstanten Verzögerung des Vorausfahrenden gerechnet wird.

Zusammenfassende Bewertung

Notbremssysteme besitzen aufgrund ihrer Wechselwirkung mit der Umwelt eine hohe Systemkomplexität. Als aktive Sicherheitssystem stellen sie besondere Anforderungen an ihre Entwicklung. Es wurden viele Systeme mit vergleichbaren Ansätzen untersucht. **Allerdings führte bisher kein Ansatz zu einer weiterführenden Umsetzung in Richtung Serie.**

Systemansatz – die rechte Aufgabenstellung

Verkehrssituationen, die zu einem Auffahrunfall führen können, sind außerordentlich vielfältig. Sie werden durch das Verhalten der betroffenen Fahrer, dem Straßenverlauf, dem Reibwert, den Sichtverhältnissen, den Eigenschaften des Bremssystems und vielen anderen Parametern beschrieben. Suchte man nun ein Bremssystem, welches in allen denkbaren Varianten mit Sicherheit einen Auffahrunfall verhindert, verstrickte man sich in der Komplexität der Aufgabenstellung und/oder den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Es ist also zunächst die Aufgabenstellung für das Notbremssystem so zu definieren, dass eine **marktfähige** technische Lösung erzielbar ist. Nur im Markt umgesetzte Lösungen werden einen Einfluß auf die Verkehrssicherheit haben.

Die Aufgabenstellung wurde wie folgt definiert:

„Das System „Vorausschauendes Notbremssystem“ muß die Gefahr eines Unfalles in bestimmten, wichtigen Verkehrssituationen vermeiden und darf sie in keiner erhöhen.“

Aus dieser Aufgabenstellung wurde folgendes Vorgehen abgeleitet: Aus den bereits oben genannten bekannten Daten der Unfallstatistik läßt sich zeigen, dass übliche Auffahrunfälle mit schweren Nutzfahrzeugen im Kolonnenverkehr in Verbindung mit schlecht konditionierten Fahrern entstehen. Das Notbremssystem wurde also auf

gerade diesen und verwandte Unfalltypen ausgelegt, was eine Verwendung serienmäßig verfügbarer Komponenten erlaubte.

Aus technischen oder schlichtweg aus physikalischen Gründen lassen sich mit dem System in Sonderfällen Auffahrunfälle nicht vermeiden. Diese Sonderfälle werden akzeptiert, damit im Gros Unfälle reduziert werden können. Dieser Teil der Aufgabenstellung betrifft das Systemkonzept und die Algorithmik.

Die Vermeidung zusätzlicher Gefahr im Straßenverkehr heißt für „Vorausschauendes Notbremssystem“, dass eine unberechtigte Bremsung mit der Gefahr für den nachfolgenden Verkehr unter allen Umständen vermieden werden muß. Diese Umstände schließen selbstverständlich Fehlfunktionen im System ein. Dieser Teil der Aufgabenstellung ist die Zielvorgabe für das Sicherheitskonzept.

Systemkonzept

Zur Realisierung sicherheitskritischer Systeme werden im allgemeinen spezielle Systemarchitekturen angewandt [L2]. Um das System „Vorausschauendes Notbremssystem“ im Fokus der Wirtschaftlichkeit darstellen zu können, mußten ausschließlich Komponenten verwendet werden, die bereits am Markt oder in Serie verfügbar sind. Die besondere Herausforderung bei der Realisierung des Systems „Vorausschauendes Notbremssystem“ bestand nun darin, die Systemfunktionalität unter Einhaltung der strengen Sicherheitsziele auf Basis der bestehenden Systemarchitektur darzustellen. Dies konnte erreicht werden, indem neben der Realisierung des Kernalgorithmus des Systems ausschließlich geringfügige Änderungen der Software vorhandener Steuergeräte vorgenommen werden mußten.

Das System „Vorausschauendes Notbremssystem“ besteht aus den Komponenten Abstandssensor (1), Bremssystem (2), Instrument (3) und „Vorausschauendes Notbremssystem“ - Steuergerät (4). Die Verbindung zwischen den Komponenten ist über den bestehenden Fahrzeugbus (5) realisiert (vgl. Bild).

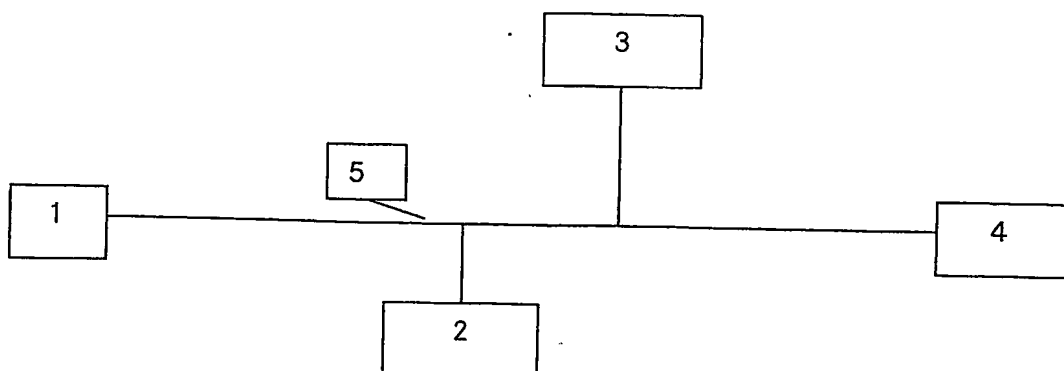


Bild: Systemarchitektur

Die Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten auf dem Fahrzeugbus ermöglicht die Verarbeitung von unterschiedlichsten Fahrzeugdaten in einem Steuergerät. Außerdem ist damit die direkte Ansteuerung der Aktuatorik wie Motor, Getriebe oder Bremse möglich. Um sicherzustellen, dass bei der Kommunikation auftretende Fehler sicher erkannt werden können, werden alle sicherheitsrelevanten Daten redundant übertragen.

Der Abstandssensor dient der Erfassung eines vorausfahrenden Fahrzeugs. Er arbeitet mit zwei unterschiedlichen physikalischen Messverfahren zur Ermittlung des Abstands und der Relativgeschwindigkeit zwischen dem eigenen und dem vorausfahrenden Fahrzeug. Mithilfe analytischer Redundanz können Störungen in der Objekterkennung erkannt und entsprechende Reaktionen daraus abgeleitet werden. Kernstück des Systems ist das Steuergerät, in dem die gesamten Informationen über die Verkehrssituation (eigenes und vorausfahrendes Fahrzeug) erfaßt werden. Durch Auswertung dieser Daten mittels einer entsprechenden Software im Steuergerät kann die Kritikalität der Situation beurteilt werden. Aus dieser Kritikalität werden die Warnmeldungen sowie die Auslösung einer Notbremsung abgeleitet.

Das Steuergerät ist mit vielfältigen Einrichtungen zur Überprüfung seiner eigenen Funktionsfähigkeit ausgestattet. Weiterhin kann es über den Fahrzeugbus die Funktionsfähigkeit des kompletten Systems im Verbund mit anderen Komponenten kontinuierlich überwachen.

Das Instrument stellt die Mensch-Maschine-Schnittstelle zum Fahrer dar. Es generiert die optischen und akustischen Warnmeldungen, mit denen der Fahrer auf kritische Situationen aufmerksam gemacht werden soll.

Im Falle einer Notbremsung wird das Bremssystem direkt über den Fahrzeugbus angesteuert. Um einen unbeabsichtigten Bremseneingriff durch das System „Vorausschauendes Notbremssystem“ zu verhindern, unterliegt der Auslösealgorithmus sowie die Kommunikationsstrecke zum Bremssystem höchsten Sicherheitsanforderungen.

Das für „Vorausschauendes Notbremssystem“ erarbeitete Sicherheitskonzept sieht vor, dass alle im System auftretenden sicherheitsrelevanten Fehler detektiert, dem Fahrer angezeigt und für Diagnosezwecke intern gespeichert werden. Grundprinzip ist die Eigenschaft, dass sich das System im Fehlerfall abschaltet (Fail-Silent-Prinzip). Dieses Prinzip ist Stand der Technik und wird sowohl im Flugzeug- wie im Fahrzeugbau in sicherheitskritischen Systemen eingesetzt [L17] [L18] [L19]. Ein Fail-Silent-System zeichnet sich dadurch aus, dass es sich selbst überwachen, eigene Fehler erkennen und im Fehlerfall abschalten kann. Im Fahrzeug sind bisher schon Funktionen wie ABS oder ESP Fail-Silent ausgelegt. Schaltet sich das System im Fehlerfall ab, hat der Fahrer ein herkömmliches Fahrzeug ohne Notbremsfunktion zur Verfügung.

Eine einmal begonnene Notbremsung wird nur durch Erreichen eines gültigen Auflösungskriteriums abgebrochen. Dadurch wird sichergestellt, daß eine Notbremsung nicht durch einen Systemfehler aufgehoben werden kann.

Dieses gesamtheitliche Konzept stellt sicher, dass keine ungewollte Notbremsung vom System eingeleitet werden kann.

Algorithmik

Das System „Vorausschauendes Notbremssystem“ verfolgt das primäre Ziel, Auffahrunfälle zu verhindern oder deren Schwere zu verringern¹. Hierzu wurde ein Algorithmus entwickelt, der die Verkehrssituation vor dem Fahrzeug analysiert und bewertet, den Fahrer bei drohender Gefahr warnt und, falls erforderlich, eine Notbremsung auslöst.

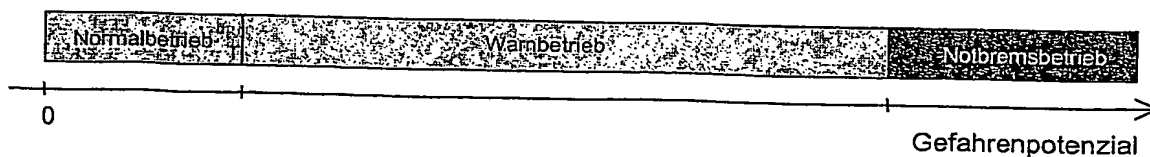


Bild: Systemzustände „Vorausschauendes Notbremssystem“

Die vorausschauende Beobachtung der Verkehrssituation erfolgt mit Hilfe eines Radarsensors (s.o.), der Abstand und die Differenzgeschwindigkeit zu vorausfahrenden Fahrzeugen ermittelt.

Der Algorithmus bewertet die Gefährlichkeit der Verkehrssituation hinsichtlich eines Auffahrunfalls. Eine Verkehrssituation ist dabei um so kritischer, je weniger Zeit dem Fahrer bleibt, eine der Situation entsprechende Reaktion einzuleiten.

In einem Zeitraum vor dem eventuellen Auslösen einer Notbremsung wird der Fahrer entsprechend der Dringlichkeit einer Reaktion gewarnt. Damit wird ihm die Möglichkeit gegeben, in dieser Phase selbständig den drohenden Unfall zu vermeiden. Die angesetzten Zeiten wurden in umfassenden Fahrversuchen ermittelt.

Überschreitet die zur Abwendung eines Auffahrunfalls notwendige Bremsverzögerung die maximal mögliche Verzögerungsleistung des Fahrzeugs, so wird automatisch eine Notbremsung ausgelöst, indem die Bremsanlage direkt auf maximalen Bremsdruck angesteuert wird.

Bei der Situationsbewertung wird sichergestellt, dass nur sicher erkannte und für eine potenziell gefährliche Situation relevante Objekte betrachtet werden. Dabei werden alle für Auffahrunfälle relevanten Abstands- und Geschwindigkeitsbereiche abgedeckt. Besonderes Augenmerk ist darauf gerichtet, dynamische Verbesserungen der Situation ohne zeitlichen Verzug zu erfassen, um unnötige Warnungen oder gar ein unberechtigtes Auslösen einer Notbremsung zu verhindern.

Die besondere Herausforderung war die Angabe eines Auslösealgorithmus, der entsprechend der Systemaufgabe zum einen bei einer Vielzahl von kritischen Verkehrssituationen korrekt warnt bzw. bremst, aber auch unter den schwierig zu beurteilenden Rahmenbedingungen von z.B. innerstädtischem Verkehr keine Fehlbremssungen generiert. Es ist nachvollziehbar, dass hier Details des Algorithmus nicht angegeben werden können, seine Funktionalität hat er aber bereits mehr als 750 000 Erprobungskilometern unter Beweis gestellt. Damit beschreibt der „Vorausschauendes Notbremssystem“ – Auslösealgorithmus die Spitze der derzeit dargestellten Möglichkeiten auf dem Gebiet aktiver, umfelder kennender Sicherheitssysteme.

Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMI)

Der Mensch-Maschine-Schnittstelle kommt wegen der bereits oben erwähnten schlechten Konditionierung der Fahrer in kritischen Verkehrssituationen eine außerordentliche Bedeutung zu. Sie soll möglichst einen Eingriff des Fahrers erreichen, bevor eine Notbremsung ausgelöst wird und gleichzeitig die Verkehrssituation entschärfen. Auch eine derartige Mensch-Maschine-Schnittstelle, die optische, akustische und haptische Elemente in ein eskalierendes Warnsystem integriert, ist hier erstmalig dargestellt.

Die Mensch-Maschine-Schnittstelle umfaßt alle Eingabeelemente, mit denen der Fahrer das Verhalten des Systems „Vorausschauendes Notbremssystem“ kontrolliert und ihm insbesondere in kritischen Fahrsituationen seinen Willen mitteilt, sowie alle Ausgabeelemente, mit denen „Vorausschauendes Notbremssystem“ den Fahrer informiert und warnt. Über die Ausgabeelemente wird das Warnkonzept umgesetzt und der Fahrer auf kritische Situationen aufmerksam gemacht.

Zu den Eingabeelementen gehört ein Schalter, mit dem das System ein- und ausgeschaltet werden kann sowie Fahrpedal und Bremspedal, mit denen eine Fahreraktivität erkannt

werden kann. Die Fahreraktivität wird bei der Ausgabe von Warnungen und der Entscheidung für eine Notbremsung berücksichtigt.

Stellt das System „Vorausschauendes Notbremssystem“ eine bezüglich eines Auffahrunfalls kritische Situation fest, erfolgt eine Warnung an den Fahrer. Die Warnung ist eskalierend und benutzt optische, akustische und haptische Signale. Hiermit wird der Fahrer zum Handeln aufgefordert. Die Dauer der Warnung ist so bemessen, dass eine Reaktion seitens des Fahrers erfolgen kann.

Die Warnung erfolgt zunächst optisch und akustisch. Zusätzlich werden Radio und Telefon stummgeschaltet, damit die Aufmerksamkeit des Fahrers in jedem Fall auf die Warnung gelenkt wird. Wenn der Fahrer hierauf nicht reagiert, wird die Warnung durch ein zusätzliches haptisches Signal in Form einer Teilbremsung verstärkt. Ein gewünschter Effekt hiervon ist auch, dass bereits Energie aus dem Fahrzeug genommen wird. Erst wenn alle Kriterien für die Auslösung einer Notbremsung erfüllt sind und der Fahrer keine Aktivitäten zeigt, erfolgt die Notbremsung. Liegt eine eindeutige Fahreraktivität vor, ist eine Notbremsung in jedem Fall ausgeschlossen.

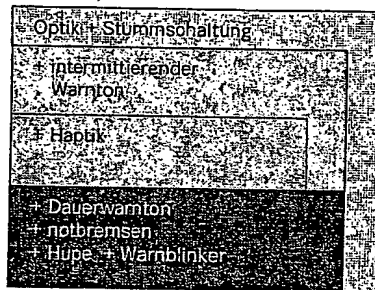


Bild : Warnstrategie „Vorausschauendes Notbremssystem“

Damit bei festgestellter Fahreraktivität der Fahrer nicht unnötig gestört wird, wird in diesem Fall auch die akustische und haptische Warnung unterbunden. Es verbleibt die optische Anzeige im Instrument, um den Fahrer auf eine potenziell kritische Fahrsituation hinzuweisen. Unnötige Warnungen sind nicht nur unter Komfort- sondern auch unter Sicherheitsgesichtspunkten zu betrachten. Treten wiederkehrende unnötige Warnungen auf, tendieren Fahrer dazu, das System auszuschalten. In kritischen Situationen unterbleibt dann die Unterstützung durch das System.

Kommt es zu einer Notbremsung, werden zusätzlich Hupe und Warnblinker angesteuert. Die Hupe macht ein vorausfahrendes Fahrzeug auf den drohenden Auffahrunfall aufmerksam, unter Umständen ist es dem betroffenen Fahrzeug möglich, die Gefahrenzone zu verlassen. Der Warnblinker warnt zusammen mit den Bremslichtern den nachfolgenden Verkehr und hilft damit, Folgeunfälle zu vermeiden.

Funktionsabsicherung am Modell

Zentrale Funktionen von „Vorausschauendes Notbremssystem“ sind die Warnstrategie und der Auslösealgorithmus. Die Wechselwirkungen des Systems mit seiner Umgebung müssen intensiv untersucht werden, damit etwa das Sicherheitsziel „Keine unberechtigte Auslösung“ gewährleistet werden kann.

Die Funktionsabsicherung unter Verwendung von Daten realer Fahrsituationen trägt wesentlich zur Entwicklung von „Vorausschauendes Notbremssystem“ bei. Weiterhin können die funktionalen Anforderungen unter Einhaltung der Sicherheitsziele nachgewiesen werden.

Sicherheitsprozeß

Um die aus dem Notbremssystem resultierenden Gefahren zu erkennen und zu behandeln, wurde der in der DaimlerChrysler Forschung entwickelte Sicherheitsprozess angewendet. Dieser beinhaltet kurz zusammengefaßt folgende Stationen:

Am Anfang des Sicherheitsprozesses steht die *Gefahrenanalyse* (Hazard Analysis) für das geplante Gesamtsystem. Dabei werden die verschiedenen möglichen Systemzustände, die Gefahren bei Fehlfunktionen und ihre Auswirkungen im schlimmsten Fall betrachtet.

Aus der Gefahrenanalyse können direkt die *Sicherheitsanforderungen* an das Gesamtsystem abgeleitet werden. Diese werden ins Lastenheft geschrieben und sind wie die übrigen Anforderungen des Lastenheftes gültig. Anhand der Sicherheitsanforderungen für das Gesamtsystem werden für die Teilsysteme wie z. B. Steuergeräte, Elektronikarchitektur, Aktorik, Sensorik, Bordnetz etc. die Sicherheitsanforderungen für jedes Teilsystem abgeleitet und ebenfalls ins Lastenheft geschrieben.

Das anschließende Sicherheitskonzept beschreibt die Maßnahmen zur Umsetzung der Sicherheitsanforderungen. Das Gesamtsystem und die Teilsysteme müssen einer Sicherheitsanalyse unterzogen werden, wobei zu prüfen ist, ob die getroffenen Maßnahmen die gestellten Anforderungen erfüllen. Hierzu stehen verschiedene Methoden und Werkzeuge zur Verfügung. Die gebräuchlichsten sind die FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) und die FTA (Fault Tree Analysis) und kamen hier zum Einsatz.

Die Sicherheitsanalyse kann Schwachstellen des Konzepts aufdecken, die zu einer Konzeptänderung führen müssen. So kann iterativ die Sicherheit eines Systems zunächst immer weiter verbessert werden, bis die vorgegebenen Sicherheitsziele erreicht sind.

Patente

- [P1] Verfahren und Vorrichtung zum selbsttätigen Bremsen eines personengeführten Kraftfahrzeugs,
A. Runnwerth, Patentschrift DE 196 47 430 C2 (15.11.1996), DaimlerChrysler AG
- [P2] Verfahren und Vorrichtung zum Abbremsen von Fahrzeugen,
W. Eberle, Europäische Patentanmeldung EP 0 933 269 A1 (31.01.1998),
DaimlerChrysler AG
- [P3] Verfahren zur Verhinderung einer Kollision eines Fahrzeugs mit einem vor dem Fahrzeug angeordneten Hindernis und Bremsvorrichtung,
M. Friederich, H. Kröger, H. Spaude, M. Hartlieb, Offenlegungsschrift DE 198 06 687 A1 (18.02.1998), DaimlerChrysler AG
- [P4] Radwinkelstellantrieb für Lenkungen von Kraftfahrzeugen
M. Rothmund, G. Ahlert, J. Trost, T. Kind., Offenlegungsschrift DE 19855418 A1 (01.12.1998), DaimlerChrysler AG, Mercedes-Benz Lenkungen GmbH

Referenzen

- [L1] N. Leveson, Safeware: „SystemSafety and Computers“, Addison-Wesley, 1995
- [L2] SAE, „Automotive Electronics Reliability Handbook“, 1987
- [L3] K. Lauk, „Globale Strategien im internationalen NFZ-Markt“, Die Welt, 18.10.98
- [L4] Entschließung des Rates vom 26. Juni 2000 zur Verbesserung der Straßenverkehrssicherheit (2000/C 218/01), Juli 2000
- [L5] EU-Weissbuch der Verkehrspolitik bis 2010, KOM(2001) 370, 12.09.2001
- [L6] S. Kopischke, „Entwicklung einer Notbremsfunktion mit Rapid Prototyping Methoden“, Technische Universität Braunschweig, Berichte aus dem Institut für Elektrische Meßtechnik und Grundlagen der Elektrotechnik, Band 10, Dissertation 2000
- [L7] A. Burgett et al., „A Collision Warning Algorithm for Rear-End Collisions“ In: 16th International Technical Conference on Enhanced Safety of Vehicles (ESV), pages 566 – 578, Windsor, Canada, June 1998
- [L8] R. Glassco, A. Burgett, and A. Chandé, „Frequency of Rear-end Collision Warnings Based on Field Operational Test Driving Data“, Intelligent Transport Systems, Toronto, 1999
- [L9] A. Burgett, R. Miller, „A New Paradigm for Rear-end Crash Prevention Driving Performance“, SAE Paper 2001-01-0463, Intelligent Vehicle Initiative: Technol. and Navigation Systems, pages 11-27, 2001
- [L10] K. Watanabe, M. Sakabe, „Emergency Brake Control that Takes Evasive Steering by the Driver into Account“, Intelligent Transport Systems, Toronto, 1999
- [L11] C. Ameling, A. Kirchner, „The Emergency Braking Module for an Electronic Copilot Design and First Results“, In: Control in Transportation Systems 2000, Proceedings of the 9th IFAC Symposium, Vol. 2, pages 459-464, June 2000, Braunschweig, Germany
- [L12] R. Schumacher et al., „Collision Warning System Technology“ In: Steps Forward, Proceedings of the 2nd World Congress on Intelligent Transport Systems, Vol. 3, pages 1138-1145, Yokohama, Japan, November 1995
- [L13] H. Araki et al., „Development of Rear-end Collision Avoidance System“, Technical Notes, JSAE Review 18, pages 314-316, 1997
- [L14] Doi et al., „Development of Rear-end Collision Avoidance System with Automatic Brake Control“, JSAE Review 15, pages 335- 340, 1994
- [L15] Y. Fujita, K Akuzawa, and M. Sato, „Radar Brake System“ In: Proceedings of the 1995 Annual Meeting of ITS America, Vol. 1, pages 95-101, Washington D.C., USA, March 1995

- [L16] P. Seller, B. Song, and J. Hedrick, „Development of a Collision Avoidance System“, Automotive Engineering International, Vol. 106, Nr. 9, pages 24-28, September 1998
- [L17] Isermann, R., VDA Technischer Kongress 2001, Tagungsband, 139-154
- [L18] Dilger, E., VDA Technischer Kongress 2000, Tagungsband, 237-242
- [L19] Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Fahrzeugtechnik Heft F33

Allgemeine Veröffentlichungen

- [T1] LastautoOmnibus 3/2000: „Kurz vor Knapp“
- [T2] IAA 2001: „Vision vom unfallfreien Fahren“
- [T3] TransGlobal 4/2001: „Das elektronische Auge sieht mehr“
- [T4] VDI-Tagung 6/2001: „Fahrzeugführungsautomatisierung“